

# OFDMA 상향 시스템에서의 협동 전송 기법

준회원 윤재선\*, 종신회원 송형규\*

## Cooperative Transmission Scheme in OFDMA Uplink System

Jae-Seon Yoon\* Associate Member, Hyoung-Kyu Song\* Lifelong Member

### 요약

OFDMA 상향 시스템은 DVB-RCT를 위해 채택되었는데, OFDM과 동일하게 다중 경로 페이딩 영향에 강하고 성능 열화 없이 수신 가능하다는 이점을 갖는다. 이 시스템의 QoS를 향상시키기 위해 기존의 MIMO시스템이 많이 연구되었으나 다중송수신 안테나를 이용하는 이들 STC, MRC 등은 다중안테나를 사용하는 데에 따른 하드웨어 복잡도 증가, 고비용, 공간상의 제약 등 여러 가지 문제점을 안고 있다. 따라서 이들을 극복하면서 QoS도 만족시킬 수 있는 새로운 기법이 필요하다. 따라서 이 논문에서는 단일 안테나를 사용하는 OFDMA 기반의 DVB-RCT 시스템을 위하여 기존의 다중 송수신 기법들의 단점을 극복하고 현존 시스템을 이용할 수 있는 협동 전송 기법을 제안한다. OFDMA 상향 시스템 기반의 단일 안테나 DVB-RCT 시스템에 제안된 협동 전송 기법을 적용함으로써, 위에서 언급한 기존 기법들의 단점들을 극복하고 MIMO 시스템과 같이 성능을 향상시킬 수 있다.

**Key Words** : Cooperative, Relay, OFDMA, DVB-RCT, MIMO

### ABSTRACT

Recently, consumers demand high-quality wireless multimedia services via terrestrial and satellite network. And the interest for new services to sustain its successful commercial deployment grows tremendously. So, the MIMO schemes, such as STCs, MRC, has been used for realizing high reliability. However, MIMO schemes has some limitations. MIMO scheme needs more size, cost, and hardware complexity to employ additional antennas. Moreover, sufficient spaces between antennas are required to guarantee the independence of each channel and the devices which use multiple antennas should be enlarged. A cooperative transmission technique which is detect and forward type applying virtual MIMO with STBC matrix in DVB-RCT(Digital Video Broadcasting with Return Channel via Terrestrial) system based on OFDMA is also proposed.

### I. 서론

최근에 디지털 방송서비스들이 변화에 직면하고 있다. 지상파 디지털 방송 서비스들이 전 세계적으로 맞물려 발전하면서 새로운 서비스에 대한 관심이 현저하게 증가되었다. 즉, 지상 및 위성방송과 유무선 통신이 융합되고, 멀티미디어 셋탑박스를 통해

PC와 TV가 연결된 새로운 개념의 통합 멀티디스플레이 기기를 눈앞에 두고 사용자가 원하는 정보형태로 무엇이든 검색할 수 있고 이를 편집할 수 있는, 즉, 사용자가 중심이 되는 사회가 대두되었다. 이러한 소비자 중심의 변혁사회에 정보 공급자와 사용자간에 다양한 장르의 정보 콘텐츠를 실시간으로 주고받을 수 있는 양방향 (Interactive) 멀티미디어

※ 본 결과물은 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실지원사업과 정보통신부 21세기 프론티어 연구개발사업 유비쿼터스 컴퓨팅 및 네트워크 원천기술 개발사업의 지원 연구결과입니다.

\* 세종대학교 uT통신연구소, 정보통신공학과 (songhk@sejong.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-04-157, 접수일자 : 2007년 4월 2일, 최종논문접수일자 : 2007년 4월 27일

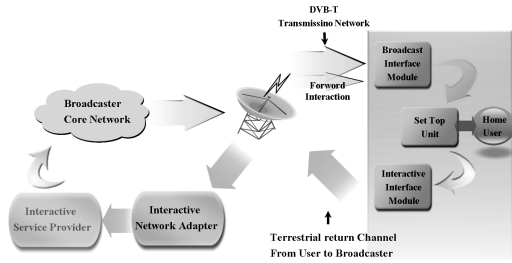


그림 1. 양방향 지상과 방송의 시스템 모델

서비스를 위한 통합형 멀티디스플레이 기기들의 도입으로 상호 연동 서비스를 제공할 수 있는 방송기기들이 제안되었다. 실제적으로 소비자와 공급자 간의 양방향 서비스를 위해서는 리턴채널(Return Channel)이 요구 되어진다.

리턴채널이란 방송·통신망을 통해 공급자로부터 전송 받은 방송프로그램이나 일기예보, 주식정보 등의 다양한 장르의 콘텐츠를 사용자가 선호하는 형태로 정보를 생성·수집·가공할 수 있도록 서비스 받기 위해서는 PC나 전화기, 디지털 TV 리모콘 등의 사용자 인터페이스를 사용하여 실내 안테나와 연결된 셋탑박스(Set-Top-Box) 및 송신 탑을 경유하여 다시 공급자에게 요구하고자 하는 정보 데이터를 역전송 하는 것을 말한다. 이와 같은 기술은 디지털 TV 내에서 송·수신기와 액세스 제어기 및 리모콘에 의해 양방향 통신이 구현됨을 뜻한다.

지상파를 이용한 양방향 디지털 TV 방송의 가장 두드러진 특징은, 무선 공중파를 이용하여 다양한 정보 데이터를 영상과 함께 동시에 전송하기 때문에 다른 매체방식에 비해 전송에 있어 제한이 적을 뿐만 아니라, 각종 디지털 인프라간에 상호 연동적이기 때문에 언제든 어디서나 누구나 쉽게 조작이 가능하고, 향후 10년 안에 현재의 단방향 TV수상기를 대체하게 될 것으로 예상되는 실로 엄청난 시장 규모가 형성될 것으로 보인다. 따라서 선진국들은 서둘러 위 기술 개발에 박차를 가하고 있는 실정이다.

현재, 국내의 양방향 데이터 방송기술은 방송사, 가전사 및 미들웨어 개발업체를 중심으로 국제표준화가 진행 중인 유럽방식의 DVB-MHP(Digital Video Broadcasting -Multimedia Home Platform)와, 미국 방식의 ATSC-DASE(Advanced Television Systems Committee-Digital TV Application Software Environment) 및 미국 컴퓨터회사를 중심으로 설립된 ATVEF (Advanced TV Enhanced Forum) 등을 구현하여 이미 시험단계를 거쳐 상용화단계에 접어들었다.

OFDMA기반의 DVB-RCT 방식은 지상과 디지털 방송을 위한 상호 연동 서비스를 제공하기 위해 그림 1과 같이 고안되었다. DVB-T 방식은 무선 으로 광대역 데이터를 소비자에게 제공할 수 있는 수단으로써 자체적으로 단방향성을 가지게 된다<sup>[1]</sup>. DVB-RCT를 사용하는 DVB-T 방식은 양방향성의 비동기적 광대역 데이터 전송을 가능 하도록 한다 <sup>[2]</sup>. 따라서 이 논문에서는 다중송수 신 안테나를 이용하는 이들 STC, MRC 등의 단점 인 하드웨어 복잡도 증가, 고 비용, 공간상의 제약 등 여러 가지 문제점들을 극복 하면서 QoS도 만족 시킬 수 있는 새로운 기법을 제안한다. 즉, 단일 안테나를 사용 하는 OFDMA 상향 링크 시스템에서 다중안테나를 사용하는 시스템의 성능을 추구하면서 다중안테나 시스템의 단점들을 극복하기위해 협동 전송 기법을 제안한다.

## II. OFDMA 기반의 DVB-RCT 시스템

1995년 DAVIC가 상호 연동 서비스를 제공하기 위한 리턴채널의 필요성을 제안하여 DVB 포럼 주관으로 PSTN, ISDN 등의 “telecommunication” 리턴 채널과 케이블, 위성, 또는 지상파 전송매체 등을 이용한 “in-medium” 리턴채널에 대한 연구가 진행되었다. 그 후 2000년 DVB-RCS(DVB- Return Channel via Satellite) 표준안이 완성되었고, 2001년 4월에 DVB-RCT 스펙이 승인되었으며, 2002년 3월에 ETSI (European Telecommunication Standard Institute)에 의해 DVB-RCT 표준안이 최종 완성되었다. DVB-RCT 시스템은 기본적으로 OFDMA 기반 시스템이기 때문에 다중경로 지연에 의한 ISI를 효과적으로 제거할 수 있으며, 고속의 멀티미디어 데이터를 전송할 수 있다는 장점을 가진다. 이때 OFDMA는 변조와 다중접속방식을 혼합한 형태이다.

OFDMA 기반의 DVB-RCT 시스템은 지상과 디지털TV 방송에서 양방향 서비스를 제공하기 위한 것으로, 기존의 DVB-T 방송 서비스에 사용 되는 방송 시설의 사용이 가능하게 설계되었다. 양방향 서비스를 제공하므로 forward interaction path (downstream)와 return interaction path(upstream)가 필요하다. 또한, 기존의 DVB-T 시스템과 완벽한 호환성이 요구 된다. 여기서, forward interaction path는 기지국에서 RCTT(Return Channel Terrestrial Terminal) 들로 정보를 전송하는 것을 말하는 것이고 return interaction path는 그 반대의 경우를 말하는 것이다. DVB-RCT 시스템에서는 downstream의 정보는 DVB-T의 방송 서비스를 위한 데이터에 삽입되어

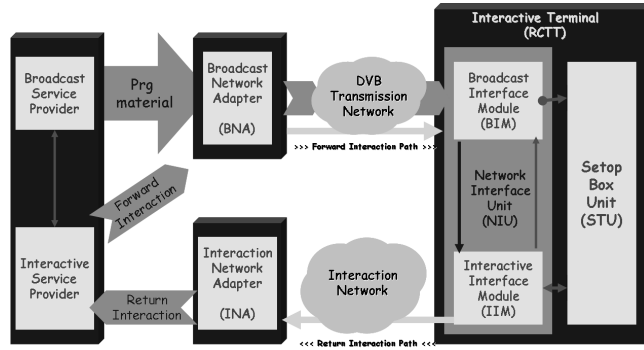


그림 2. DVB-RCT 시스템의 동작 블록도

표 1. DVB-RCT 시스템의 물리계층 사양

Parameters	Values
Return Interaction Channel	Multiple Access OFDM
OFDM Carrier set	1024(1K), 2048(2K)
OFDM Carrier spacing	1KHz, 2KHz, 3KHz
Transmission modes	6 modes (Combination of 3 Carrier Spacing & 2 OFDM Carrier sets)
Carrier spacing	Nyquist, Rectangular
Guard Interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Transmission Frames	TF1, TF2
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM
Encoding rates	1/2, 3/4
Channel codes	Turbo or concatenated (Reed-Solomon + Convolutional)
Burst structure	BS1, BS2, BS3
Service range	Up to 65 km
Channel raster	6, 7, 8 MHz channels are supported

전송된다. 하지만 RCTT 에서 upstream의 정보를 전송하기 위해서는 별도의 채널이 필요하다. 그림 1 은 이러한 DVB-RCT 시스템의 전형적인 모델을 보여 준다. 또한, 그림 2는 이러한 시스템의 간략화된 동작 블록도를 보여준다. 그리고 기본적인 DVB-RCT 시스템의 물리계층 사양은 표 1과 같다<sup>[2]</sup>.

### 2.1 OFDMA기반의

#### DVB-RCT 시스템 신호 모델

단일 송수신 안테나를 사용하는 OFDMA 기반의 DVB-RCT 시스템의 상향링크(uplink)는  $K$ 개의 부반송파를 사용한다. 여러 사용자들이 다중 접속을 하기 위해서  $K$ 개의 부반송파는 각각의 유저에서 할당되고, 이들은 서로 직교성을 유지한다.  $P$ 명의 유저를 허용할 때, 시간  $t$ 에서  $p$ 번째 유저의 전송 심

볼신호는 다음과 같다.

$$x^p(t) = \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} X^p(k) \exp\left(\frac{j2\pi kn}{K}\right) \quad (1)$$

여기서,  $X^p(k)$ 는 주파수 축에서 생성된  $p$ 번째 유저의 신호이며,  $n$ 은  $K$  IFFT의 변수이다. 위의 식에서  $X^p(k)$ 은 다시 다음 수식으로 표현할 수 있다.

$$X^p(k) = \begin{cases} X(k) & k \in C_p \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

위에서  $X(k)$ 는 OFDM 심볼이며  $C_p$ 는 주파수 축에서  $p$ 번째 유저의 부반송파 인덱스이다.  $X^p(k)$ 는  $k$ 가  $C_p$ 에 포함되어 있을 때만 값을 가진다. 즉,  $p$ 번째 유저는 자신이 할당 받은 구역에만 데이터를 전송할 수 있다. 각 단말기에서 수식 (1)과 같은 심볼 신호를 수신하게 되면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = \frac{1}{K} \sum_{p=1}^P \sum_{n=0}^{K-1} H^p(k) X^p(k) \exp\left(\frac{j2\pi kn}{K}\right) + w(t) \quad (3)$$

여기서  $w(t)$ 는 평균 0, 분산은  $2N_0$ 를 갖는 AWGN이다.

### 2.2 기존의 시공간 다이버시티 기법

시공간 다이버시티 기법은 여러 개의 전송 안테나를 가지는 시공간 부호를 이용하여 변조기를 통과한 정보를 서로 한 심볼 간격의 지연을 가지면서 두 개의 출력 채널 심볼신호가 동시에 전송한다. 시공간 다이버시티 기법은 간단한 연산으로 전송 다이버시티 효과를 얻을 수 있어 성능개선으로 인한 안정성의 증가는 가능하지만, 현재 시스템 구조를 그대로 사용 하지 못하고 다중안테나를 사용해야 하므로 추가적인 안테나의 공간 문제, 비용, 하드웨어의 복잡성 등의 단점이 있다. 더구나 다중 송·수신

안테나를 사용 하려면 각각의 송신 안테나끼리, 수신 안테나 사이에 충분한 공간이 확보되어야 한다. 각각의 안테나에서 전송되는 심볼들이 채널을 통과 하여 수신되어진 후, STBC 기법의 경우 복조화를, MRC 기법의 경우 Combining을 거칠 때 각각의 송신 안테나와 수신 안테나들 끼리의 거리를 충분히 확보하지 않는다면 채널이 독립이 되지 않고 서로 연관되어 버리기 때문에 수신 한다 하더라도 다이버시티 이득을 얻을 수 없고 전송된 심볼을 검출할 수 없게 된다.

즉, 차세대 방송 통신 시스템의 상/하향링크 (up/down link) 전송 기술로 종래에 주목받던 시공간 다이버시티 기법(STBC, MRC)은 추가적으로 다중 안테나를 사용해야한다는 면에서 공간, 비용, 복잡성이라는 약점이 있는 문제가 있다.

### III. 협동 전송 기법

#### 3.1 협동 전송 기법 개요

최근 큰 관심을 받고 있는 협동 전송 기법은 송수신 다이버시티 기법의 여러 단점들을 극복하면서도 송수신 다이버시티 기법과 유사한 성능을 얻을 수 있는 전송 기법이다. 협동 전송 기법은 일반적으로 송수신 다이버시티 기법이 적용되는 시스템에서 보다 쉽게 사용될 수 있으며 이들 기법이 물리적으로 적용되기 힘든 시스템에서도 적용가능하다. 협동 전송 기법은 페이딩 채널 환경 하에서 다중 사용자가 협동하여 통신을 함으로써 다이버시티 이득을 얻을 수 있어 일반적으로 사용자들의 단말기의 크기 제한 등으로 송신 다이버시티를 얻기 곤란한 상향링크(uplink)에 적합한 전송 방식이다.

일반적인 협동 통신 시스템은 위에서 언급한 단점들을 극복 하고 단일 안테나를 사용하는 시스템에서도 여러 사용자끼리 자신들의 안테나를 공유함으로써 가상의 다중 안테나 시스템을 만들어 내어 마치 다중 안테나를 이용한 것과 같은 다이버시티이득을 얻게 해준다<sup>[3]</sup>. 일반적인 협동 통신 시스템에 대한 개념도를 그림 3에 나타내었다.

그림 3에서 실선은 중계 입장의 사용자가 어느 다른 한 사용자를 위해 일방적으로 자신의 자원을 할당 하는 것이고 점선은 서로 둘 다 협동을 하여 전송을 하는 것이다.

협동 통신의 기본적인 아이디어는 Cover와 El Gamal의 혁신적인 연구에서 비롯된다<sup>[4]</sup>. 이들은 Source, Destination, Relay로 구성된 세 개의 노드를

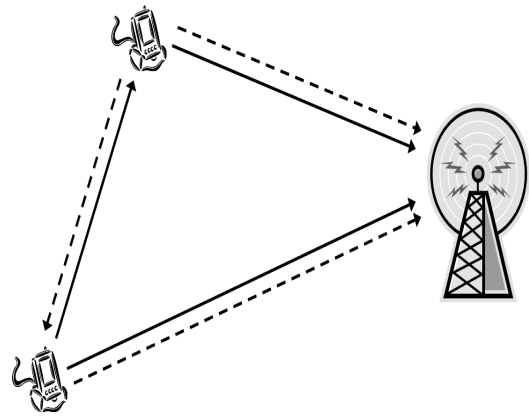


그림 3. 단방향 및 양방향 협동 통신 시스템

표 2. 협동 통신과 중계 채널의 차이점

Type	Concept	Purpose
Cooperative communication	Diversity in a fading channel	Cooperation of total system
Relay channel	Capacity in an AWGN channel	Main channel help

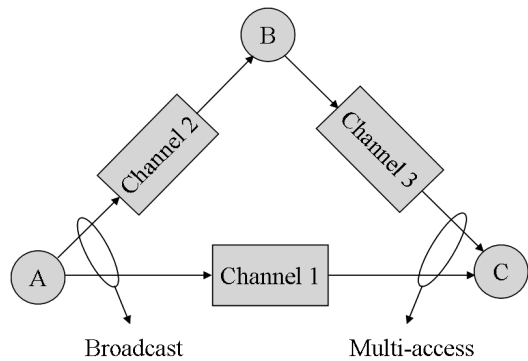


그림 4. 중계 채널

가지는 네트워크에서 채널 용량을 분석 하였다. 모든 노드들은 같은 대역에서 동작한다고 가정했을 본 방송 채널, Destination에서 바라본 다중 접속 채널로 분류될 수 있다<sup>[4]</sup>. 그러나 그림 3의 협동 통신과 그림 4에서 나타내는 중계 채널은 분명한 차이점이 존재하는데, 이를 표 2에서 정리 해보았다.

#### 3.2 협동 전송 기법의 신호 전송 방법

중계 노드에서 신호를 중계하는 방법은 첫 번째로 Detect-and-forward 방법이 있다. 그림 5과 같이, 송신 노드에서 전송된 신호를 중계노드가 수신하여 신호를 비트레벨까지 검출한 후, 다시 코딩과 변조를 통하여 기지국으로 전송해주는 방법이다. 이는

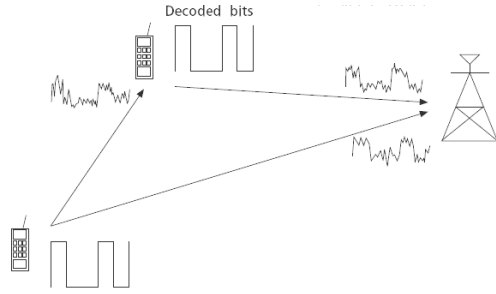


그림 5. Detect-and-forward 방식

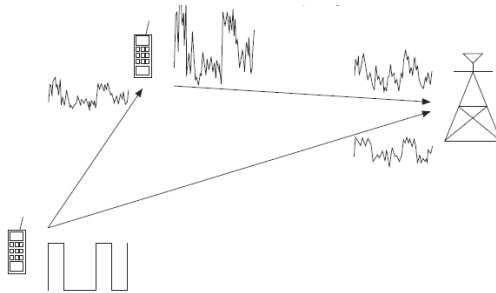


그림 6. Amplify-and-forward 방식

중계노드에서 신호를 원래대로 복원한 후에 전송하므로 송신 노드에서 전송된 신호와 거의 동일한 신호가 다른 채널을 거쳐 기지국에 전송되므로 마치 STBC에서와 같이 동일한 신호가 서로 다른 채널을 통해 목적지까지 전송되어 송신 다이버시티 이득을 얻는 것과 같은 효과를 볼 수 있겠다.

두 번째 방법은, Amplify-and-forward 방식으로 단순히 중계 노드에서 수신한 신호를 검출하지 않고 수신 신호 자체를 증폭해서 기지국으로 재전송하는 방법이다. 그림 6과 같이, 이 방식은 별 다른 복잡한 과정 없이 단순한 증폭만 하므로 간단하면서도 효과적인 방법이라 할 수 있다. 하지만 이 방식은 송신자가 전송한 신호는 물론 송신 노드와 중계 노드 간의 채널 효과 그리고 노이즈까지 같이 증폭 되므로 앞의 첫 번째 방식 보다는 성능이 떨어진다고 할 수 있다. 이 논문에서는 좋은 채널을 확보하고 있는 주변의 단말기를 협동 전송 기법의 대상으로 확정을 했다고 가정한다. 따라서 협동 전송을 하기 위한 중계 채널의 상태가 양호하므로 단일 안테나를 사용하는 DVB-RCT 시스템의 성능을 STBC와 유사한 성능까지 향상시키기 위하여 Detect-and-forward와 Amplify-and-forward 방식 중 채널의 상태가 좋을 경우 성능이 매우 좋은 Detect-and-forward 방식을 선택 하였다.

### 3.3 단방향 및 양방향 협동 전송 기법

앞에서와 같이 그림 3에서 단방향 협동 전송 기법을 실선으로, 양방향 협동 전송 기법을 점선으로 나눌 수 있는데,  $p$ 번째 유저의 단말기가 주 단말기가 되고 주변의 단말기는 자신의 신호를 전송하지 않고 중계만 해준다면 단방향 협동 전송 기법, 중계 단말기도 동시에 주 단말기에게 협동 전송을 하게 되면 양방향 협동 전송 기법이 된다.

먼저 그림 3에서 단방향 협동 전송 기법을 살펴 보면,  $p$ 번째 유저가 주 단말기가 되고 주변의 선택된 단말기는 중계 단말기가 된다. 주 단말기는 첫 번째 심볼신호를 전송하고, 중계 단말기는 첫 번째 심볼 신호를 수신하여 검출한다. 중계 단말기는 검출한 심볼 신호를 다시 재전송하게 된다. 주 단말기와 중계 단말기에서 시간적으로 전송하는 신호 구조는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \vec{x}^p &= \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} x^p(1), \frac{1}{\sqrt{2}} x^p(2), \frac{1}{\sqrt{2}} x^p(1)^*, \frac{1}{\sqrt{2}} x^p(3), \dots \right\} \\ \vec{x}_r^p &= \left\{ 0, \frac{1}{\sqrt{1}} \hat{x}^p(1), -\frac{1}{\sqrt{2}} \hat{x}^p(2)^*, 0, (4), \dots \right\} \end{aligned}$$

주 단말기인  $p$ 번째 유저는  $t$ 시간에 자신의 첫 번째 심볼신호를 전송하고 중계 단말기는  $p$ 번째 유저의 첫 번째 심볼신호를 수신하여,  $(t+T)$ 시간에  $p$ 번째 유저가 자신의 두 번째 심볼신호를 전송할 때 중계 단말기도  $p$ 번째 유저의 첫 번째 심볼신호를 전송한다.  $(t+2T)$  시간에는  $p$ 번째 유저는 다시 첫 번째 심볼신호를 컨주게이트한후 전송하게 되고 중계 단말기는 앞서 수신한  $p$ 번째 유저의 두 번째 심볼신호를 마찬가지로 컨주게이트한 후 음수화 시켜 전송한다.

수식 (4)에서 시공간 다이버시티 기법과 마찬가지로 협동 전송 기법으로 신호를 전송할 때, 전체 전송 전력은 1이 되어야 한다. 즉, 단말기는 협동 전송 기법을 사용할 때와 그렇지 않을 때 소모하는 전력이 같아야 한다. 각각의 심볼신호는 전송 전력이  $1/\sqrt{2}$ 로 낮춰서 전송한다. 그리고 신호를 전송하는 1개의 블록동안 페이딩 채널이 변하지 않는다면, 즉, 슬로우 페이딩 채널이라면 각각의 신호가 통과하는 채널은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} h_1(t+T) &= h_1(t+2T) = h_1 \\ h_2(t+T) &= h_2(t+2T) = h_2 \\ h_3(t) &= h_3(t+T) = h_3 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서,  $h_1, h_2, h_3$ 은 각각 그림 3에서와 같이 서로

간의 채널이다. 그림 3에서 중계 단말기는 상기 채널 중  $h_3$ 을 통과하게 되고 이에 따른 수신신호는 다음과 같이 표현된다.

$$r_r(t) = h_3 * x^p(t) + w_r(t) \quad (6)$$

중계단말기에서 수식(6)의 수신 신호를 검출하는데 있어 OFDM방식의 신호는 FFT를 통과한 후 1-탭 이퀄라이저를 통과하게 된다. 그 후 검출된 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$\widehat{X}^p(t) = H_3^* R_r(t) = |H_3|^2 X^p(t) + H_3^* W_r(t) \quad (7)$$

위와 같이 복호화된 신호를 중계 단말기에서 다시 수식 (4)와 같은 방법으로 재전송하게 되고 주 단말기가 전송한 심볼신호와 함께 중첩되어 기지국으로 전송되게 된다. 이 때 중계단말기에서 재전송한 심볼신호는 중계 채널  $h_3$ 가 상대적으로 좋은 채널이라면 완벽하게 재전송될 것이고 이에 따라  $\widehat{X}^p(t)$ 는  $X^p(t)$ 이 된다.

그래서 기지국에서는 결과적으로 같은 심볼신호를  $t, (t+T)$  시간에 시공간 다이버시티 기법과 마찬가지로 두 번 수신하게 되어 다이버시티 효과를 얻게 된다. 따라서 기지국에서 수신한 심볼신호는 다음과 같이 표현할 수 있고 이들 신호를 시간에 따라 표 3에서 정리하였다.

$$\begin{aligned} R^p(t+T) &= H_1^p X^p(2) + H_2^p X^p(1) + W_1 \\ R^p(t+2T) &= H_1^p X^p(1)^* - H_2^p X^p(2)^* + W_2 \end{aligned} \quad (8)$$

위와 같이 수신된 신호는 시공간 다이버시티와 비슷하게  $(t+T)$ 와  $(t+2T)$  시간에 수신된 신호를 서로 합 또는 차를 하여 1-탭 이퀄라이저를 통과 함으로써 효과적으로 간단하게 검출할 수 있다. 즉, 다음

표 3. 주파수축에서 살펴본 단방향 협동 전송 기법

Received Signal	Channel 1	Channel 2	Noise
$R^p(t)$	$H_1^p X^p(1)$	0	$+ W_1$
$R^p(t+T)$	$H_1^p X^p(2)$	$+ H_2^p \widehat{X}^p(1)$	$+ W_2$
$R^p(t+2T)$	$H_1^p X^p(1)^*$	$- H_2^p \widehat{X}^p(2)^*$	$+ W_3$
$R^p(t+3T)$	$H_1^p X^p(3)$	0	$+ W_4$
$R^p(t+4T)$	$H_1^p X^p(4)$	$+ H_2^p \widehat{X}^p(3)$	$+ W_5$
$R^p(t+5T)$	$H_1^p X^p(3)^*$	$- H_2^p \widehat{X}^p(4)^*$	$+ W_6$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

과 같이 각각의 심볼신호를 검출할 수 있다.

$$\begin{aligned} \widetilde{X}^p(1) &= H_2^{p*} R^p(t+T) + H_1^p R^p(t+2T) \\ \widetilde{X}^p(2) &= H_1^{p*} R^p(t+T) - H_2^p R^p(t+2T) \end{aligned} \quad (9)$$

$p$ 번째 유저의 첫 번째 심볼신호는 기지국에서 수신한 첫 번째 신호에  $H_2^{p*}$ 을, 두 번째 신호에 컨주게이트를 취한후  $H_1^p$ 를 곱하여 둘의 합을 이용하고,  $p$ 번째 유저의 두 번째 심볼신호는 기지국에서 수신한 첫 번째 신호에  $H_1^{p*}$ 을, 두 번째 신호에 마찬가지로 컨주게이트 후  $H_2^p$ 를 곱하여 둘의 차를 이용한다. 수식(9)을 전개하여 다음과 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \widetilde{X}^p(1) &= (|H_1^p|^2 + |H_2^p|^2) X^p(1) + H_1^p W_3^* + H_2^{p*} W_2 \\ \widetilde{X}^p(2) &= (|H_1^p|^2 + |H_2^p|^2) X^p(2) + H_1^{p*} W_2 - H_2^p W_3^* \end{aligned} \quad (10)$$

위의 식에서, 단방향 협동 전송 기법을 사용하여 일반적인 단일 안테나를 사용한 시스템에 비해  $(|H_1^p|^2 + |H_2^p|^2)$ 만큼의 다이버시티를 얻게 된다.

다음으로 그림 3의 양방향 협동 전송 기법을 살펴보면, OFDMA 기반의 DVB-RCT 시스템에서는 단방향 협동 전송 기법과 다르지 않음을 알 수 있다. DVB-RCT 시스템의 상향 링크에서는 상기에 명시한 OFDMA방식을 사용하고 있기 때문에 각각의 유저들은 주파수 축에서 자기 자신에게 할당된 구역의 부반송파만을 사용하게 된다. 따라서  $p$ 번째 유저의 심볼신호가 주파수 축에서 각각 할당된 부반송파 구역에 삽입되어 시간축으로 IFFT 되어 전송되면  $p$ 번째 유저는 수신한  $p$ 번째 유저의 심볼신호를 주파수 축에서  $p$ 번째 유저에게 할당된 부반송파에 삽입하여 자신의 심볼신호와  $p$ 번째 유저의 심볼신호를 간섭 없이 동시에 전송할 수 있다.

각각의 유저가 전송하는 심볼신호의 구조는 다음과 같이 표현할 수 있고 표 4에서 정리한다.

$$\begin{aligned} \vec{x}^p &= \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} x^p(1), \frac{1}{\sqrt{2}} x^p(2) + \frac{1}{\sqrt{2}} \widehat{x}^p(1), \frac{1}{\sqrt{2}} x^p(1)^* - \frac{1}{\sqrt{2}} \widehat{x}^p(2)^*, \dots \right\} \\ \vec{x}^{p'} &= \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} x^{p'}(1), \frac{1}{\sqrt{1}} \widehat{x}^{p'}(1) + \frac{1}{\sqrt{2}} x^{p'}(2), -\frac{1}{\sqrt{2}} \widehat{x}^{p'}(2)^* + \frac{1}{\sqrt{2}} x^{p'}(1)^*, \dots \right\} \end{aligned} \quad (11)$$

위의 수식과 같이 단방향 협동 전송 기법에서의 구조와 유사함을 알 수 있다. 자세히 살펴보면 각각의 유저는  $t$ 시간에 자기 자신의 첫 번째 심볼신호를 전

표 4. 주파수축에서 살펴본 양방향 협동 전송 기법

Received Signal	p-th user	p-th user	noise
$R(t)$	$H_1^p X^p(1)$	$+ H_2^p X^p(1)$	$+ W_1$
$R(t+T)$	$H_1^p X^p(2) + H_2^p \widehat{X}^p(1) + H_1^p \widehat{X}^p(2) + H_2^p X^p(1)$		$+ W_2$
$R(t+2T)$	$H_1^p X^p(2)^* - H_2^p \widehat{X}^p(1)^* + H_1^p \widehat{X}^p(2)^* - H_2^p X^p(1)^*$		$+ W_3$
$R(t+3T)$	$H_1^p X^p(3)$	$+ H_2^p X^p(3)$	$+ W_4$
$R(t+4T)$	$H_1^p X^p(4) + H_2^p \widehat{X}^p(3) + H_1^p \widehat{X}^p(4) + H_2^p X^p(3)$		$+ W_5$
$R(t+5T)$	$H_1^p X^p(3)^* - H_2^p \widehat{X}^p(4)^* + H_1^p \widehat{X}^p(3)^* - H_2^p X^p(4)^*$		$+ W_6$
$\vdots$			$\vdots$

송한 후,  $(t+T)$ 시간에서  $p$ 번째 유저는  $p$ 번째 유저의 첫 번째 심볼신호를 주파수 축에서  $p$ 번째 유저의 부반송파 구역에 삽입하여 자기 자신의 두 번째 신호와 같이 전송한다.  $(t+2T)$  시간에서는  $p$ 번째 유저는 자신의 첫 번째 심볼 신호를 컨주게이트한 후  $p$ 번째 유저의 두 번째 심볼신호를 컨주게이트하고 음수화 시켜 같이 전송한다.  $p$ 번째 유저도  $p$ 번째 유저와 유사하게 상기 수학적식과 같이 전송한다. 수식(11)에 따라 양방향 협동 전송 기법에서  $p$ 번째 유저는 단방향 협동 전송 기법과 똑같이 검출할 수 있고  $p$ 번째 유저와 유사하게  $p$ 번째 유저의 신호는 다음과 같이 검출할 수 있다.

$$R^{p'}(t+T) = H_1^{p'} X^{p'}(2) + H_2^{p'} X^{p'}(1) + W_1 \quad (12)$$

$$R^{p'}(t+2T) = H_1^{p'} X^{p'}(1)^* - H_2^{p'} X^{p'}(2)^* + W_2$$

위의 수식 (8), (9), (10)와 같이  $p$ 번째 유저가  $(t+T)$ ,  $(t+2T)$ 시간에 수신한 신호의 합 또는 차를 이용하여 다음과 같이  $p$ 번째 유저의 신호를 검출한다.

$$\widehat{X}^{p'}(1) = H_2^{p'*} R^{p'}(t+T) + H_1^{p'} R^{p'*}(t+2T) \quad (13)$$

$$\widehat{X}^{p'}(2) = H_1^{p'*} R^{p'}(t+T) - H_2^{p'} R^{p'*}(t+2T)$$

$$\widehat{X}^{p'}(1) = (|H_1^{p'}|^2 + |H_2^{p'}|^2) X^{p'}(1) + H_1^{p'} W_3^* + H_2^{p'*} W_2 \quad (14)$$

$$\widehat{X}^{p'}(2) = (|H_1^{p'}|^2 + |H_2^{p'}|^2) X^{p'}(2) + H_1^{p'*} W_2 - H_2^{p'} W_3^*$$

수식 (4)와 (11)을 토대로 그림 3의 단방향 및 양방향 협동 전송 기법의 부호화 및 복호화를 수식 (10)과 (14)으로 수학적으로 표현하였다. 이들 수식에서 일반적인 OFDMA 시스템의 상향 링크보다 협동 전송 기법을 적용하였을 때  $(|H_1^{p'}|^2 + |H_2^{p'}|^2)$  만큼의 다이버시티 이득을 얻을 수 있고 중계 채널  $h_3$ 가  $h_1$ 과  $h_2$ 보다 상대적으로 매우 좋다면 시공간 다이버시티(STBC) 기법의 BER 성능과 같게 됨을 예상할 수 있다.

### V. 모의실험 및 고찰

이 절에서는 단일 송·수신 안테나를 사용하는 DVB-RCT 시스템에 협동 전송 기법을 적용하여 BER 성능을 통하여 STBC 기법의 BER 성능과 비교 분석 하였으며, 중계 채널의 환경이 협동 전송 기법의 BER 성능에 어떠한 영향을 미치는지 분석하고 평가한다. 본 실험은 20개의 다중 경로 페이딩을 갖는 DVB-RCT CM2 채널을 사용하였다 이 채널은 슬로우 페이딩이고 경로마다 주파수 비 선택적(frequency non-selective)이다. 총 16명의 사용자가 할당 되어있는 DVB-RCT 시스템에서 8번째 사용자와 9번째 사용자가 협동 전송 기법을 통해 신호를 전송 하는 것을 기본으로 한다.

먼저 협동 전송 기법의 BER 성능은 STBC 기법의 BER 성능과 유사할 것임을 예상할 수 있다. 그림 7은 일반적인 DVB-RCT 시스템과 협동 전송 기법을 적용한 DVB-RCT 시스템의 BER 성능을 비교한다. 여기서 협동 전송 기법의 중계 채널을 완벽하다고 가정했으며, 따라서 일반적 시스템의 BER 성능에 비해 협동 전송 기법의 BER 성능이 BER =  $10^{-3}$ 을 기준으로 약 10 dB 우수함을 볼 수 있다.

그림 8은 Alamouti의 STBC 기법을 적용한 DVB-RCT 시스템의 BER 성능을 함께 비교한다. STBC 기법을 적용한 DVB-RCT 시스템의 BER 성능은 일반적인 시스템보다 BER =  $10^{-3}$ 을 기준으로 약 10dB 정도 우수한 것을 볼 수 있고 STBC 기법과 중계 채널이 완벽한 협동 전송 기법의 적응 전송

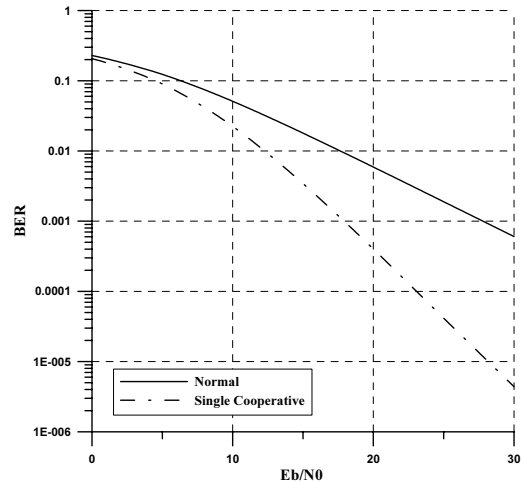


그림 7. OFDMA기반의 DVB-RCT 시스템에서 협동 전송 기법의 BER 성능

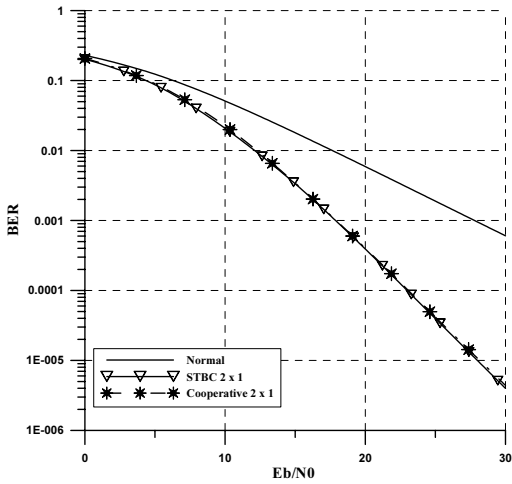


그림 8. OFDMA기반의 DVB-RCT 시스템에서 STBC 기법과 협동 전송 기법의 BER 성능 비교

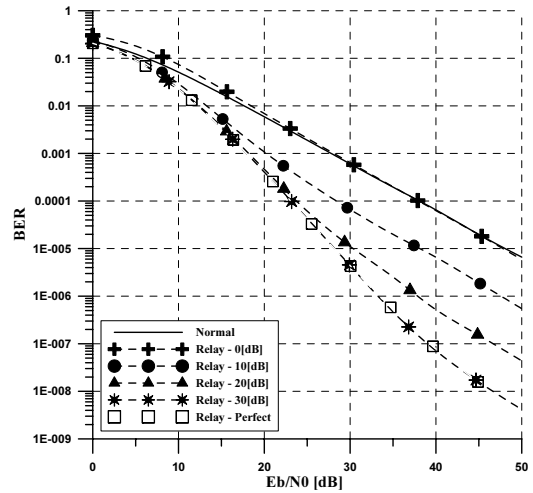


그림 10. OFDMA 기반의 DVB-RCT 시스템에서 중계 채널의 환경에 따른 양방향 협동 전송 기법의 BER 성능 비교

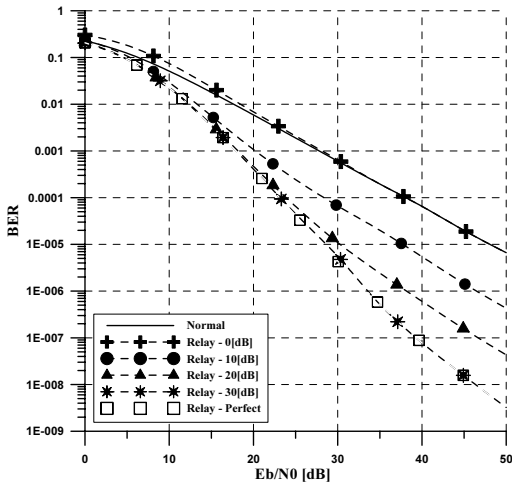


그림 9. OFDMA기반의 DVB-RCT 시스템에서 중계채널의 환경에 따른 단방향 협동 전송 기법의 BER 성능 비교

기법의 BER 성능이 동일함을 알 수 있다. 하지만 중계 채널이 완벽하다는 가정은 실질적인 시스템에서의 성능을 예측할 수 없게 한다.

그림 9는 DVB-RCT 시스템에서 단방향 협동 전송 기법의 BER 성능을 중계 채널의 환경에 따라 비교분석하고 있다. 그림 9에서 먼저 각각의 단말 기간의 중계 채널이 현재 단말기와 기지국간의 전송 채널보다 나쁘거나 같을 경우 일반적인 보통의 DVB-RCT 시스템의 BER 성능보다 떨어짐을 알 수 있다. 중계 채널이 전송 채널보다 상대적으로 0 ~ 30 dB까지 점점 좋아지면서 단방향 협동 전송 기법의 BER 성능 또한 완벽한 중계 채널의 BER 성능

에 접근함을 알 수 있다. 즉, 중계 채널이 전송 채널 보다 상대적으로 약 25 dB 이상 우수하다면  $BER = 10^{-3}$  기준으로 중계 채널이 완벽할 때 즉, STBC 기법의 성능과 유사하게 된다.

그림 10은 DVB-RCT 시스템에서 양방향 협동 전송 기법의 BER 성능을 중계 채널의 환경에 따라 비교분석하고 있다. OFDMA 기반의 DVB-RCT 시스템이기 때문에 각각 단말기간의 데이터는 완벽히 구분되어 전송된다. 중계 채널이 전송 채널 보다 상대적으로 0 ~ 30 dB까지 점점 좋아지 면서 양방향 협동 전송 기법의 BER 성능 또한 완벽한 중계 채널의 BER 성능에 접근함을 알 수 있고 이는 단방향 협동 전송 기법과 같은 결과이다.

## VII. 결론

본 논문에서는 단일 안테나 기반의 DVB-RCT 시스템에서의 신뢰성 향상을 위한 송·수신 기법에 대한 연구로써, 기존의 다중 송·수신 기법들의 단점들을 극복하면서 단일 안테나 기반의 시스템으로 다중 안테나 시스템과 유사한 성능의 신뢰성을 확보하기 위해 협동 전송 기법을 제안하였다. 즉 MIMO 시스템은 공간, 비용, 복 잡도 등의 단점을 가지고 있고 더구나 다중 안테나간의 공간이 확보되지 않는다면, 시공간 다이버시티 기법에서 직교성이 깨지게 되어 성능을 발휘하지 못하는 단점들을 가진다. 따라서 제안된 알고리즘 들을 기존의 OFDMA 상향 시스템기반의 DVB-RCT 시스템에 효율적으로 적용함으로써, MIMO 시스템의 단점을 극복하고 성



능향상을 가져 옴을 알 수 있었다.

앞으로 협동 전송 기법의 전송률 향상에 대한 연구가 진행되어야 한다.

### 참 고 문 헌

- [1] Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel and modulation for digital terrestrial television (DVB-T) European Telecommunication Standard, ETS 300744, March 1997.
- [2] Digital Video Broadcasting (DVB) : interaction channel for digital terrestrial television (RCT) incorporating multiple access OFDM, ETS 301958, March 2002.
- [3] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 1, no. 8, pp. 1451 - 1458. October 1998.
- [4] Y. Akyildiz and B. D. Rao, "Maximum ratio combining performance with imperfect channel estimates," IEEE International Conference, vol. 3, pp. 2485-2488, May 2002.
- [5] Aria Nosratinia and Todd E. Hunter, "Cooperative Communication in Wireless Networks," IEEE Communication Magazine, pp. 74-80, October 2004.
- [6] T.M. Cover and A. A. E. Gamal, "Capacity Theorems for the Relay Channel," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 25, no.5, pp. 572-584, September 1979.
- [7] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User Cooperation Diversity Part I and Part II," IEEE Trans. Communications, vol. 51, no. 11, pp. 1927-1948, November 2003.

윤 재 선 (Jae-Seon Yoon)

준회원



2005년 2월 : 세종대학교 정보통신공학과 학사

2007년 2월 : 세종대학교 정보통신공학과 석사

2007년 3월~현재 : 세종대학교 정보통신공학과 박사과정  
<관심분야> 디지털통신, 방송통신, WPAN

송 형 규 (Hyoung-Kyu Song)

중신회원



1996년 2월 : 연세대학교 전자공학과 박사

1996년 1월~2000년 2월 : 전자부품연구원 책임연구원

2000년 3월~현재 : 세종대학교 정보통신공학과 부교수  
<관심분야> 디지털 통신, 방송통신